

Źródła centralnej części dorzecza górnej Szreniawy – wydajność i zmiany cech fizykochemicznych w latach 2000–2011

Anna Banaś¹



Springs in the central part of the upper Szreniawa catchment – discharge and change of physicochemical properties in 2000–2011. Prz. Geol., 62: 366–372.

Abstract. Spring water discharge and physicochemical properties were investigated in four springs of the Szreniawa catchment. The catchment is located in the western part of the Miechów Upland and is composed of Cretaceous marls and limestones. Spring discharge was measured in two-week intervals from February to November 2011. The water was being sampled for chemical composition once a month. The aim was to determine discharge changes in the springs and physicochemical properties of water. Relationships between the properties of water in the years 2000–2011 have been also analyzed. All the examined springs are characterized by a steady discharge. According to the Meinzer's efficiency classification, most of the springs belong to class III. The total average spring discharge is about $496.4 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. According to the Shchukarev–Prıklonskii classification, these waters represent the $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ type. The samples are characterized by a relatively high mineralization of water in most springs exceeding $500 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. The springs located nearby can be very different in terms of chemical composition of water, which is controlled by the variations in aquifer rock lithology and local groundwater horizons. The total dissolved solids, concentrations of Ca^{2+} and HCO_3^- measured in 2011, were always higher than in 2000. It may indicate an increase in the aggressiveness of the water.

Keywords: springs, spring discharge, physicochemical properties, Miechów Upland

Źródła to naturalne, samoczynne i skoncentrowane wpływy wód podziemnych na powierzchnię terenu (Pazdro & Kozerski, 1990). Pierwsze opracowanie dotyczące źródeł Szreniawy powstało w 1921 r. (Przesmycki, 1921). W latach 60. i 70. XX w. badania hydrologiczne na tym obszarze prowadziły Czarnecka (1970, 1973) i Dynowska (1963a, 1964). Ta ostatnia dokonała waloryzacji przyrodniczej 246 źródeł Wyżyny Miechowskiej i Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej (Dynowska, 1983). Stworzona wówczas dokumentacja zawiera cenne informacje m.in. o typach źródeł, ich wydajności, warstwie wodonośnej oraz walorach krajobrazowych. W latach 60. XX w. Dynowska (1963b) zwróciła również uwagę na walory edukacyjne i krajobrazowe wybranych źródeł na Wyżynie Miechowskiej i zaczęła propagować ich ochronę, co następnie kontynuowała wraz z Drzał (Drzał & Dynowska, 1982). W kolejnych latach prace nad uznaniem niektórych źródeł pomnikami przyrody nieożywionej prowadziły Baścik i Pociask-Karteczka (2001), które m.in. dostarczały naukowych podstaw do starań o objęcie tych źródeł ochroną prawną. Niespełna 30 lat później wyniki badań Dynowskiej zostały zaktualizowane i uzupełnione o informacje na temat składu chemicznego wód źródłanych przez Chełmickiego (Chełmicki, 2001; Chełmicki i in., 2001), który zwrócił jednocześnie uwagę na zmiany ogólnej mineralizacji i hydrologicznych cech źródeł, jakie zaszły w tym czasie. Właściwościami hydrochemicznymi wód wybranych źródeł dorzecza Szreniawy zajmowali się też Dynowski i Zbadyńska (1974). W latach 2001–2002 kompleksowe badania źródeł w zlewniach Prądnika, Dłubni i Szreniawy prowadził Siwek (2004). Zidentyfikował on zagrożenia jakości wód źródłanych oraz określił naturalne i antropogeniczne czynniki kształtujące ich skład chemiczny.

Na Wyżynie Małopolskiej źródła nie były objęte stałym monitoringiem, który umożliwiłby śledzenie ich zmian zarówno jakościowych, jak i ilościowych. Celem niniejszej pracy jest przedstawienie zmienności wydajności źródeł zasilanych wodami piętra kredowego oraz określenie zmian

cech fizykochemicznych badanych wód, jakie zaszły w latach 2000–2011, co jest szczególnie istotne ze względu na rolnicze zagospodarowanie obszaru wyżyny.

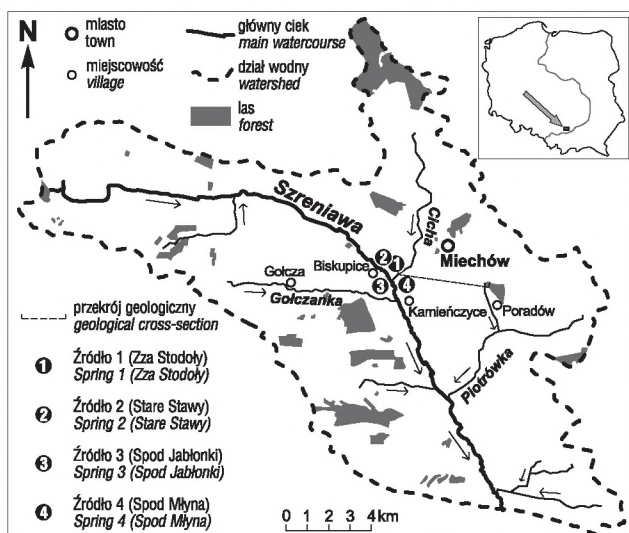
OBSZAR BADAŃ

Pod względem fizycznogeograficznym dorzecze górnej Szreniawy leży w podprovincji Wyżyna Małopolska (makroregion Niecka Nidziańska, mezoregion Wyżyna Miechowska; Kondracki, 2000). Powierzchnia dorzecza Szreniawy do dawnego przekroju wodowskazowego w Kacicach koło Słomnik, który zamyka jej górną część, wynosi $264,4 \text{ km}^2$ (Dynowska, 1964). Głównymi dopływami górnej Szreniawy są potoki: Cicha, Gołczanka oraz Piotrówka (ryc. 1).

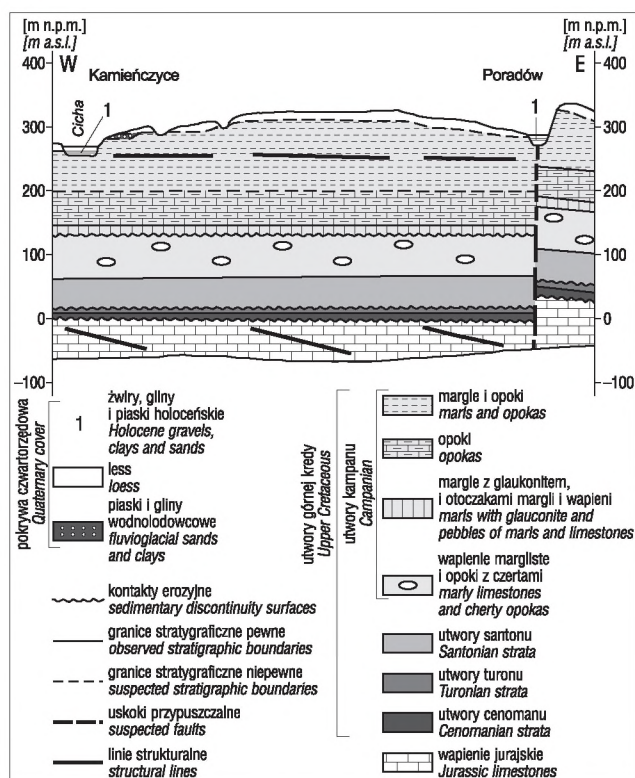
Zachodni fragment dorzecza górnej Szreniawy, którego powierzchnia wynosi 29 km^2 , budują twory jurajskie (Dynowska, 1964), natomiast pozostałą część utworów kredowych, które zalegają niezgodnie na wapieniach górnej jury i zapadają pod kątem $2\text{--}7^\circ$ ku północnemu wschodowi. Największe znaczenie i rozprzestrzenienie wśród skał kredowych mają twory górnej kredy, których miąższość sięga kilkuset metrów. Osady te są wykształcone głównie w postaci margli glaukonitowych, gez, opok, wapieni marglistych oraz margli (ryc. 2). Na powierzchni występuje rumosz skalny (zwietrzałe twory kredowe), przykryty utworami lessowymi. Miąższość rumoszu wynosi ok. 2 m, co sprzyja infiltracji wód opadowych i roztopowych (Dynowska, 1963a). Twory czwartorzędowe to plejstocenyjskie piaski fluwioglacjalne i glacialne, osady eoliczne oraz holoceńskie aluwia (Rutkowski & Mądry, 1997). Na pokrywach lessowych powstały żyzne gleby, dzięki którym badany obszar ma charakter wybitnie rolniczy – grunty orne zajmują 79% powierzchni (Guzik & Górka, 1991).

Przeważającą część dorzecza górnej Szreniawy obejmują dwa arkusze „Mapy hydrogeologicznej Polski” (MhP) w skali 1 : 50 000 – 915 (Miechów) i 947 (Słomniki). Zgodnie z MhP większość badanego obszaru zajmuje górnokredowy główny użytkowy poziom wodonośny o charakterze

¹ Zakład Hydrologii, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński, ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków; a.banas@uj.edu.pl.



Ryc. 1. Położenie badanych źródeł w dorzeczu górnej Szreniawy
Fig. 1. Location of investigated springs in the upper Szreniawa catchment



Ryc. 2. Przekrój geologiczny między Kamieńczycami a Poradówem (lokalizacja na ryc. 1; wg Rutkowskiego & Mądrego, 1997)
Fig. 2. Geological cross-section between Kamieńczyce and Poradów (for location see Fig. 1; after Rutkowski & Mądry, 1997)

szczelinowym (Zembał i in., 1997; Wagner i in., 2000). Szczelinowatość zanika na głębokości 80–120 m (Niedzielski, 1971). Miąższość warstwy wodonośnej wynosi średnio 20–40 m. Pole hydrodynamiczne ma płaską powierzchnię z lekkimi spadkami w kierunku cieków. Wydajność potencjalna studni wierconej poziomu górnokredowego to na ogół 10–70 m³/h (Wagner i in., 2000).

Badaniami objęto cztery leżące w okolicach Miechowa źródła o dużej wydajności (ryc. 1, 3–6), których szczegółową charakterystykę zamieszczono w tabeli 1. Wpływ wody ze źródeł następuje na kontakcie zbocza ze słabo



Ryc. 3. Źródło 1 (Zza Stodoły)
Fig. 3. Spring 1 (Zza Stodoły)



Ryc. 4. Źródło 2 (Stare Stawy)
Fig. 4. Spring 2 (Stare Stawy)



Ryc. 5. Źródło 3 (Spod Jabłonki)
Fig. 5. Spring 3 (Spod Jabłonki)



Ryc. 6. Źródło 4 (Spod Młyna)
Fig. 6. Spring 4 (Spod Młyna)

Tab. 1. Charakterystyka badanych źródeł oraz parametry fizykochemiczne wód źródłanych w latach 2000 (Siwek, 2002) i 2011
Table 1. Spring characteristics and physicochemical parameters of the spring waters in 2000 (Siwek, 2002) and 2011

Charakterystyka Characteristics			Źródło / Spring							
			1 (Zza Stodoły)		2 (Stare Stawy)		3 (Spod Jabłonki)		4 (Spod Młyna)	
Miejscowość / Locality			Biskupice		Biskupice		Biskupice		Kamieńczyce	
Typ źródła / Type of spring			descenzyjno-ascenzyjne, szczelinowe, podboczowe / descending-ascending, fissure, under slope							
Warstwa wodonośna / Aquifer			margle i opoki kredowe / Cretaceous marls and opokas							
Położenie [m n.p.m.] / Elevation [m a.s.l.]			265		265		270		262,5	
Wydajność Discharge	min.	[dm ³ · s ⁻¹]	101,6		108,4		86,7		78,9	
	śr. / avg.		130,5		131,3		129,6		105	
	maks. / max.		154		157,3		152,6		137,7	
Właściwości fizykochemiczne Physicochemical properties			Rok / Year							
			2000	2011	2000	2011	2000	2011	2000	2011
PEW*	min.	[μS · cm ⁻¹]	486		568		475		545	
	śr. / avg.		535		596		526		558	
	maks. / max.		554		615		544		574	
Ca ²⁺	min.		73		104		88		99	
	śr. / avg.		89		109		91		105	
	maks. / max.		93		116		92		112	
Mg ²⁺	min.		12,6		13,5		12,5		11,9	
	śr. / avg.		13,6		16,1		12,8		13	
	maks. / max.		14,6		17,4		13,5		13,9	
Na ⁺	min.		4,9		4,2		4,2		3,6	
	śr. / avg.		5,1		6,3		4,6		4,1	
	maks. / max.		5,6		7,1		5,2		4,6	
K ⁺	min.		2,1		2,1		1,8		1,7	
	śr. / avg.		2,3		2,7		1,9		1,9	
	maks. / max.		2,5		3,2		2		2	
NH ₄ ⁺	min.		<0,01		0,02		<0,01		0,03	
	śr. / avg.		<0,01		0,06		<0,01		0,06	
	maks. / max.		<0,01		0,11		<0,01		0,14	
Li ⁺	min.		–		<0,05		–		<0,05	
	śr. / avg.		–		<0,05		–		<0,05	
	maks. / max.		–		<0,05		–		<0,05	
HCO ₃ ⁻	min.		244		351		284		298	
	śr. / avg.		298		385		291		336	
	maks. / max.		311		438		297		381	
SO ₄ ²⁻	min.	[mg · dm ⁻³]	14,4		17,4		11,9		16	
	śr. / avg.		15		20,8		14,5		19,1	
	maks. / max.		16		23,2		16,9		21,3	
Cl ⁻	min.		11,9		13,8		11,9		15,9	
	śr. / avg.		13,3		14,7		13,1		17,3	
	maks. / max.		14,8		18,3		14,5		19	
NO ₃ ⁻	min.		11,4		11,1		14,4		18,4	
	śr. / avg.		14,2		13,7		16,7		20,3	
	maks. / max.		17,8		18,9		18,6		22,1	
NO ₂ ⁻	min.		<0,02		<0,025		<0,02		<0,025	
	śr. / avg.		<0,02		<0,025		<0,02		<0,025	
	maks. / max.		<0,02		<0,025		<0,02		<0,025	
PO ₄ ³⁻	min.		0,08		<0,01		0,09		0,01**	
	śr. / avg.		0,09		<0,01		0,11			
	maks. / max.		0,12		<0,01		0,12			
F ⁻	min.		–		<0,025		–		0,13	
	śr. / avg.		–		0,2		–		0,18	
	maks. / max.		–		0,28		–		0,26	
Br ⁻	min.		–		<0,05		–		<0,05	
	śr. / avg.		–		<0,05		–		<0,05	
	maks. / max.		–		<0,05		–		<0,05	
Ogólna mineralizacja Total mineralization			450		568		446		517	

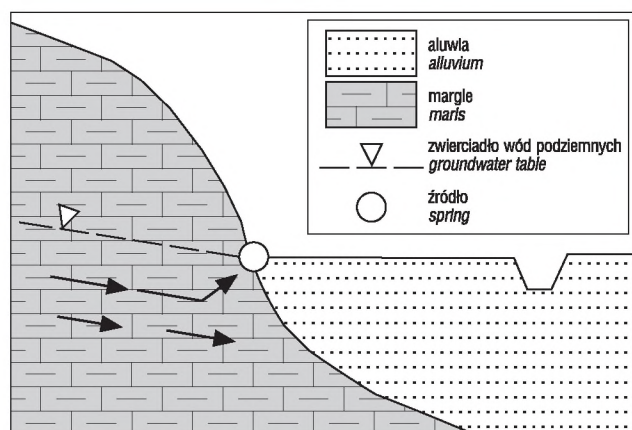
– Nie oznaczono / not determined.

* PEW – przewodność elektrolityczna właściwa / specific electrolytic conductivity.

** Stężenie oznaczone tylko w jednej serii pomiarowej / concentration determined only in one measurement series.

Tab. 1. Charakterystyka badanych źródeł oraz parametry fizykochemiczne wód źródłanych w latach 2000 (Siwek, 2002) i 2011 (cd.)
Table 1. Spring characteristics and physicochemical parameters of the spring waters in 2000 (Siwek, 2002) and 2011 (cont.)

Charakterystyka Characteristics	Źródło / Spring			
	1 (Zza Stodoly)	2 (Stare Stawy)	3 (Spod Jablonki)	4 (Spod Młyna)
Typ wody wg klasyfikacji Szczukariewa–Priklonskiego Type of water according to Shchukarev–Priklonskii classification	HCO ₃ –Ca			
Uwagi / Comments	pomnik przyrody nieożywionej monument of nature	zaśmiecona nisza źródłowa garbage at the spring	pomnik przyrody nieożywionej monument of nature	pomnik przyrody nieożywionej; ponad 100-letni, nieczynny młyn na źródle monument of nature; more than a 100- years-old, closed mill located on the spring



Ryc. 7. Schemat napływu wody podziemnej do źródła 3 (wg Dynowskiej & Tlałka, 1971)

Fig. 7. Model of groundwater inflow to spring 3 (after Dynowska & Tlałka, 1971)

przepuszczalnymi aluwiami terasy Szreniawy (ryc. 7). Lokalnie może występować kilka horyzontów wód podziemnych. Dzieje się tak na skutek zróżnicowanego wykształcenia utworów kredowych – osady dobrze przepuszczalne mogą być porozielane słabo przepuszczalnymi wkładkami ilasto-marglistymi. Zostało to zaobserwowane w studniach usytuowanych w odległości kilku metrów od siebie, gdzie zwierciadła wód podziemnych widoczne są na różnych głębokościach (Niedzielski, 1971). Głębokość zwierciadła wód podziemnych na wysoczyznach dochodzi do 100 m, natomiast w dolinach rzecznych zmienia się od kilku metrów do 15 m (Zembał i in., 1997; Wagner i in., 2000). Roczna amplituda poziomu zwierciadła wynosi przeważnie 2–5 m, choć skrajne wartości amplitud rocznych poziomu zwierciadła mają większy zakres (0,5–12 m). Najwyższe stany poziomu zwierciadła notowane są po roztopach śniegu i po ulewnych deszczach w lecie, natomiast najniższe – w zimie. Zbiornik zasilany jest głównie wodami opadowymi, roztopowymi i rzecznyymi (Dynowska, 1964; Dynowska & Tlałka, 1970; Niedzielski, 1971; Kleczkowski, 1991). W zbiorniku kredowym współczynnik filtracji wynosi średnio od $0,7 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ do $3,5 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (Kleczkowski, 1986).

W rzeźbie obszaru badań wyraźnie zaznaczają się wierzchowiny o płaskich lub falistych garbach, których zbocza nachylone są pod kątem 3–5° w kierunku południowo-wschodnim. Wierzchowiny wznoszą się na wysokość nieco ponad 400 m n.p.m. (Cabaj & Nowak, 1986). Centralna część dorzecza górnej Szreniawy, w której położone są badane źródła, charakteryzuje się gęstą siecią dolin

holoceńskich (wąwozów, parowów oraz debrzy) o przebiegu południkowym, rozcinających garby morfologiczne i uchodzących do dolin głównych (Dynowska, 1964).

Teren badań znajduje się w cieniu opadowym Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej. Średnia roczna suma opadów wynosi tu ok. 650 mm (Paszyński & Kluge, 1986). Badania terenowe przeprowadzono w 2011 r. w różnych warunkach atmosferycznych. W okresie od 1 stycznia do 20 marca pokrywa śnieżna występowała sporadycznie, a jej największa zmierzona miąższość wyniosła 8 cm. Suma opadów była niewielka (49,2 mm). Wiosną średnie dobowe temperatury powietrza nie spadały poniżej 0°C, a suma opadów osiągnęła 150,6 mm. Największą sumą opadów odznaczał się okres letni (282,6 mm), z kolei jesień była sucha – suma opadu wyniosła 34,5 mm, a w listopadzie zarejestrowano opad o wysokości zaledwie 0,2 mm. Całkowita suma opadów od 1 stycznia do 30 listopada to 516,9 mm (stacja meteorologiczna Kraków-Balice; <http://www.ogimet.com>).

METODYKA BADAŃ

Badania prowadzono w 2011 r., od lutego do listopada. W tym czasie wydajność źródeł mierzono dwa razy w ciągu miesiąca, głównie metodą pływakową, każdorazowo w tym samym przekroju poprzecznym koryta cieku. Ponadto trzykrotnie obliczano wydajność każdego źródła za pomocą młynka hydrometrycznego HEGA-1 w celu ustalenia współczynnika redukcyjnego do pomiaru metodą pływakową. W ocenie wydajności źródeł zastosowano klasy Meinzer (Pazdro & Kozerski, 1990).

Próbki wody do oznaczeń parametrów fizykochemicznych pobierano raz w miesiącu (brak oznaczeń dla lipca). W laboratorium hydrochemicznym Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego zmierzono przewodność elektrolityczną właściwą (PEW) wody z badanych próbek za pomocą wielofunkcyjnego przyrządu komputerowego CX-742 firmy Elmetron. Stężenie jonów Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, NH₄⁺, Li⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, PO₄³⁻, F⁻ i Br⁻ oznaczono metodą chromatografii jonowej (DIONEX ICS-2000). Za mineralizację ogólną wody przyjęto sumę wszystkich oznaczonych analitycznie składników (Macioszczyk, 1987). Na podstawie wyników przeprowadzonych badań dokonano także klasyfikacji hydrochemicznej zbadanych wód źródłanych według Szczukariewa–Priklonskiego (Pazdro & Kozerski, 1990) oraz oceny ich jakości zgodnie z kryteriami i sposobami oceny stanu wód podziemnych („Rozporządzenie Ministra Środowiska...”, 2008).

Zmierzone wartości parametrów fizykochemicznych badanych wód źródłanych zestawiono z odpowiadającymi

im wartościami uzyskanymi w 2000 r. (Siwek, 2002). W 2000 r. próbki wody do oznaczeń laboratoryjnych pobierano od lutego do grudnia w odstępach jednomiesięcznych (ze źródeł 1 i 4) i trzymiesięcznych (ze źródeł 2 i 3). W opróbowanych wodach oznaczono stężenie jonów: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- i PO_4^{3-} przy użyciu metod: miareczkowej, fotometrycznej, spektrofotometrycznej. Przewodność elektrolityczną właściwą mierzono wówczas w terenie za pomocą miernika Elmetron CC-317.

WYNIKI

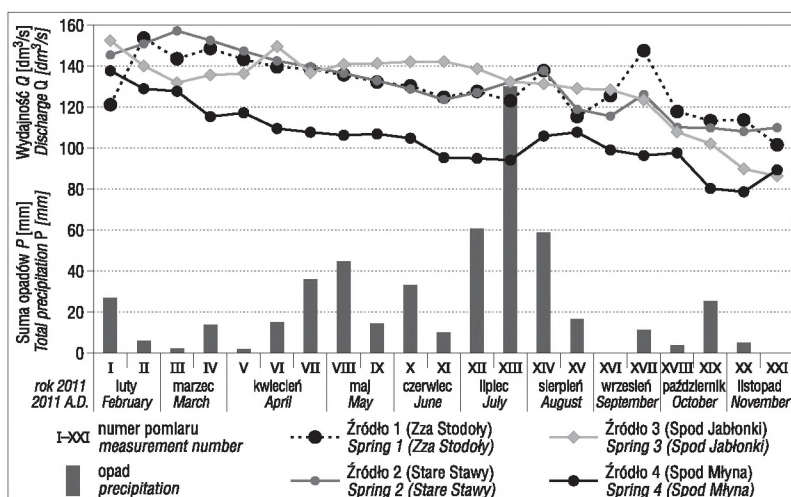
Wydajność źródeł

Łączna średnia wydajność badanych źródeł w 2011 r., od lutego do listopada, wyniosła $496,4 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Do połowy czerwca we wszystkich czterech źródłach wydajność przekraczała $100 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (ryc. 8). Maksymalne wydajności badanych wpływów notowano od lutego do kwietnia, a najniższe w październiku oraz w listopadzie. Wzrost wydajności źródeł zaznaczył się również w sierpniu i we wrześniu. Średnia wydajność źródeł 1, 2 i 3 w okresie badań była zbliżona i wyniosła odpowiednio: $130,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $131,3 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ i $129,6 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (tab. 1). Najmniejszą średnią wydajność miało źródło 4 ($105 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Wszystkie badane wpływy należą do źródeł stałych ze względu na wskaźnik zmienności wydajności według Mailleta ($R < 2$; Pazdro & Kozerski, 1990) i zaliczane są do III klasy wydajności ($100\text{--}1000 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) zgodnie z klasyfikacją Meinzera (Pazdro & Kozerski, 1990). Jedynie okresowo źródła 3 i 4 odpowiadają IV klasie wydajności ($10\text{--}100 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Cechy fizykochemiczne wód źródłanych

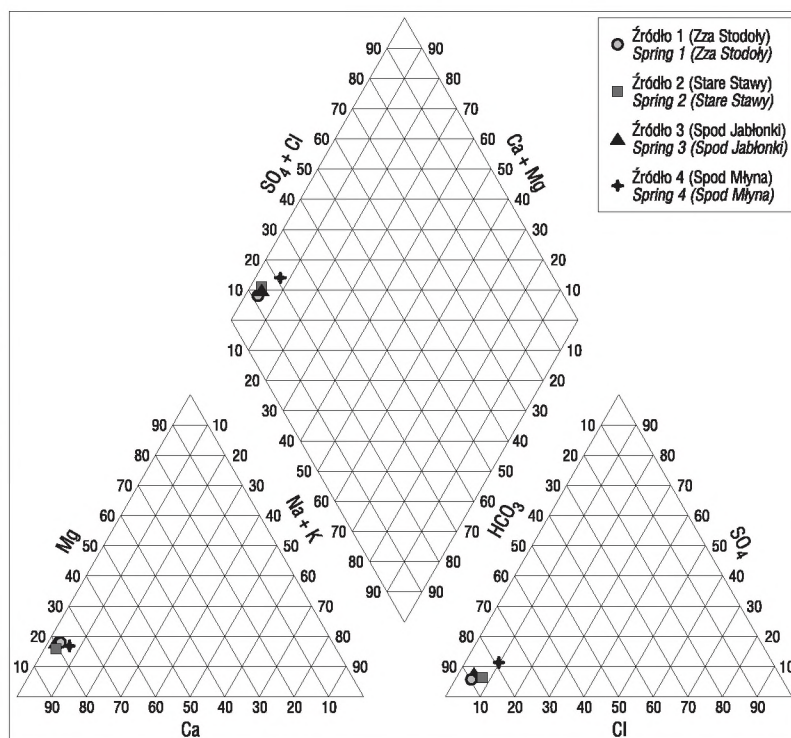
Wyniki analiz fizykochemicznych badanych wód źródłanych przedstawiono w tabeli 1 oraz na rycinie 9.

Według podziału wód na podstawie ogólnej mineralizacji rozpatrywane wody to akrotęgi (mineralizacja $500\text{--}1000 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$). Jedynie woda ze źródła 3 znajduje się na pograniczu akrotęgi i wody słodkiej ($100\text{--}500 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$; Pazdro & Kozerski, 1990). Badane wody są wodami twardymi (Pazdro & Kozerski, 1990). Zgodnie z klasyfikacją Szczukariewa-Priklonskiego należą one do wód dwujonowych typu $\text{HCO}_3\text{--Ca}$. W badanych próbkach wody jony wodorowęglanów w sumie jonów średnio mieściły się w granicach $38\text{--}44\%$, natomiast jony Ca^{2+} w zakresie $37\text{--}39\%$. Udział Mg^{2+} w sumie jonów wyniósł $8\text{--}9\%$. W wodzie ze źródła 3 średnie stężenie jonów Ca^{2+} było najniższe ($102 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) i bardzo podobne do tego w wodzie ze źródła 2 ($105 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) oraz ze źródła 1 ($109 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), a najwyższe w wodzie pobranej ze źródła 4 ($127 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$). Podobnie zróżnicowane było stężenie Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- i SO_4^{2-} . Stężenie jonu HCO_3^- w badanych wodach wahało się w zakresie $298\text{--}457 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ i odzna-



Ryc. 8. Wydajność badanych źródeł na tle sumy opadów pomiędzy poszczególnymi pomiarami w okresie od lutego do listopada 2011 r.

Fig. 8. Discharge rates of the investigated springs versus the total precipitation between research periods from February to November 2011



Ryc. 9. Skład chemiczny wód z badanych źródeł przedstawiony na diagramie Pipera
Fig. 9. Piper diagrams showing chemical composition of waters from investigated springs

czało niewielkimi zmianami (współczynnik zmienności $C_v < 10\%$) w każdym źródle. Średnia zawartość jonu F w badanych wodach źródłanych była zbliżona ($0,17\text{--}0,20 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$). Najwyższym stężeniem SO_4^{2-} charakteryzowała się woda ze źródła 4 ($47,8 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) – było ono ponad dwukrotnie wyższe od stężenia w wodach z pozostałych źródeł, w których koncentracja siarczanów osiągała podobne wartości. Współczynnik zmienności dla tego jonu w wodach ze źródeł 1, 2 i 4 wyniósł poniżej 10% . Natomiast w przypadku wody ze źródła 3 mimo najniższej średniej zawartości jonu SO_4^{2-} współczynnik zmienności wyniósł prawie 20% . Relacje stężeń Cl w wodach z poszczególnych źródeł były podobne jak w przypadku siarczanów.

Koncentracja jonu NH_4^+ w badanych wodach cechuje się największą zmiennością ($C_v = 50\text{--}58\%$). We wszystkich wodach średnie stężenie azotanów było podobne, przy czym współczynnik zmienności dla wody ze źródła 2 wyniósł 7%, a dla wody ze źródła 4 był ponad czterokrotnie wyższy. Stężenie azotynów, fosforanów, litu oraz bromu zazwyczaj było niższe niż limit detekcji.

DYSKUSJA

Zmiany wydajności źródeł

Średnia wydajność każdego badanego źródła jest wyższa niż $100 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, zatem są to najwydajniejsze źródła w dorzeczu górnej Szreniawy. Jedynie wydajność źródła w Gołczy (ryc. 1) okresowo przekracza $100 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Siwek, 2004). Rozpatrywane źródła są również jednymi z największych wypływów w kraju. W Polsce źródła o średniej wydajności ponad $100 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ poza Wyżyną Małopolską występują w Tatrach, na Wyżynie Śląsko-Krakowskiej oraz na Wyżynie Lubelskiej i na Roztoczu (Michalczyk i in., 2004; Chełmicki i in., 2011). Na Niżu Polskim największą wydajność mają Niebieskie Źródła w Tomaszowie Mazowieckim – obecnie wynosi ona $70\text{--}80 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Małecka, 1997).

Znaczna wydajność badanych źródeł uwarunkowana jest głównie dużą wodonośnością margli odznaczających się gęstą siecią spękań tektonicznych (Dynowska, 1964; Chełmicki, 1986; Kleczkowski, 1991); charakteryzuje się ona małą zmiennością (R nie przekracza 2). Maksymalna wydajność przypadająca na luty i marzec 2011 r. była nieco opóźniona w stosunku do roztopów; pokrywa śnieżna zalegała od końca listopada 2010 r. do połowy stycznia 2011 r. Podwyższona wydajność źródeł odnotowana w sierpniu oraz we wrześniu 2011 r. to najprawdopodobniej efekt wysokich opadów, które nastąpiły w lipcu tegoż roku. W źródle 3 nie odnotowano wzrostu wydajności. Powodem może być użyta metoda pomiaru – metoda pływakowa, która jest obciążona dużym błędem, dochodzącym do 10%. Przyczyny najniższej wydajności notowanej w listopadowej serii pomiarowej należy upatrywać w suchym i ciepłym wrześniu, kiedy to miesięczna suma opadów wyniosła 15,2 mm, a miesięczna średnia dobowa temperatura powietrza 15°C . Listopad to również początek roku hydrologicznego, który w większości zlewni charakteryzuje się najniższą retencją w ciągu roku. Najwyższą wydajność źródeł po zaniku pokrywy śnieżnej i nieco niższą po okresach wysokich opadów atmosferycznych wskazuje na ich roztopowo-opadowy reżim. Zatem wydajność badanych wypływów jest uwarunkowana stanem retencji strefy saturacji, który zależy głównie od wielkości opadów oraz od parowania, nie zawsze bieżącego, a często z dość długiego okresu poprzedzającego. Podobnie jest kształtowana wydajność niektórych źródeł Wyżyny Lubelskiej i Roztocza (Michalczyk, 2001).

Zestawienie wydajności źródeł zmierzonej w latach 1974, 1999 i 2011 w tym samym miesiącu (kwiecień) i tą samą metodą (pływakowa) daje ogólną informację o jej zmianach w poszczególnych latach podczas wiosny (tab. 2). Niska wydajność źródeł w 1974 r. jest wynikiem prawie beżśnieżnej zimy 1973/1974, po której zasilanie wód podziemnych wodami roztopowymi było niewielkie. Ponadto suma opadów w marcu 1974 r. wyniosła jedynie 1,6 mm, a w okresie 1–20 kwietnia tego roku (data pomiaru wydajności) 1,2 mm (stacja meteorologiczna Kraków-Balice; „Rocznik Meteorologiczny”, 1974, 1975). Na uwagę zasługują też różnice wydajności źródeł w latach 1999 i 2011 r.

Tab. 2. Zestawienie wydajności badanych źródeł (Dynowska 1983; Chełmicki, 2001)

Table 2. Summary of discharge rates of the investigated springs (Dynowska 1983; Chełmicki, 2001)

Źródło / Spring	Wydajność / Discharge [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]		
	kwiecień 1974 r. <i>April 1974</i>	kwiecień 1999 r. <i>April 1999</i>	kwiecień 2011 r. <i>April 2011</i>
1 (Za Stodoły)	130	169	140
2 (Stare Stawy)	50	226	144
3 (Spod Jabłonki)	75	95*	141
4 (Spod Młyna)	75	108*	111

* Średnia wydajność z dwóch pomiarów – kwietniowego i listopadowego / *average spring water discharge of the measurements in April and November.*

Lata te charakteryzowały się podobną sumą opadów w marcu i w kwietniu (ok. 64–68 mm), jednak różniły się czasem zalegania pokrywy śnieżnej i przebiegiem roztopów. Podczas zimy 2010/2011 ciągle pokrywa śnieżna zalegała od końca listopada 2010 r. do połowy stycznia 2011 r. Maksymalną miąższość pokrywy śnieżnej zanotowano w grudniu 2010 r. (25 cm), natomiast od połowy stycznia 2011 r. do końca lutego 2011 r. pokrywa śnieżna występowała sporadycznie. Zimą 1998/1999 ciągle pokrywa śnieżna występowała od połowy listopada 1998 r. do połowy grudnia 1998 r. oraz przez cały luty 1999 r. Maksymalna miąższość pokrywy śnieżnej w lutym 1999 r. wyniosła 31 cm (stacja meteorologiczna Kraków – Ogród Botaniczny).

Zmiany cech fizykochemicznych wód źródłanych

W składzie chemicznym analizowanych wód dominują jony Ca^{2+} oraz HCO_3^- pochodzące z dysocjacji węglanów będących składnikiem margli budujących badany obszar. Znaczna mineralizacja wód jest wynikiem ich wzbogacania w jony podczas powolnej migracji wód podziemnych wąskimi szczelinami (Dynowski & Zbadyńska, 1974; Chełmicki & Siwek, 2001; Siwek & Chełmicki, 2004). Z przeprowadzonych badań wynika, że wody źródeł położonych w bliskim sąsiedztwie różnią się właściwościami fizykochemicznymi. Zaznacza się to przede wszystkim w przypadku wody ze źródła 4, w której stężenie Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} i Cl^- oraz mineralizacja i PEW są znacznie wyższe w porównaniu do pozostałych wypływów. Zwrócili już na to uwagę Dynowski i Zbadyńska (1974). Przyczyny tych różnic upatruje się w zróżnicowaniu facjalnym osadów kredy oraz występowaniu lokalnych horyzontów wód podziemnych (Siwek, 2004).

Duża zmienność stężenia jonu NH_4^+ we wszystkich badanych wodach ($C_v = 50\text{--}58\%$), SO_4^{2-} w wodzie ze źródła 3 ($C_v = 20\%$) i NO_3^- w wodzie ze źródła 4 ($C_v = 28\%$) wskazuje na ich antropogeniczne pochodzenie. Stężenie jonów oznaczanych w badanych wodach mieści się w zakresie tła hydrochemicznego dla górnokredowego głównego poziomu wodonośnego (Wagner i in., 2000). Jedynie w wodzie ze źródła 4 średnie stężenie jonu Mg^{2+} (o $0,76 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) oraz mineralizacja ogólna (o $86 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) nieznacznie przekraczają granice tła hydrochemicznego.

Według kryteriów klasyfikacji wód podziemnych („Rozporządzenie Ministra Środowiska...”, 2008) badane wody zaliczane są do II klasy jakości ze względu na podwyższone stężenie azotanów. Klasa II obejmuje wody dobrej jakości, w których wartości niektórych parametrów fizykochemicznych są podwyższone w skutek naturalnych procesów lub bardzo słabego wpływu działalności człowieka.

Po zestawieniu wyników nowych (2011 r.) pomiarów z wynikami badań przeprowadzonych ponad dekadę temu widać, że w wodach wszystkich badanych wypływów wzrosła mineralizacja ogólna oraz stężenie jonów Ca^{2+} i HCO_3^- (tab. 1), co może wskazywać na zwiększenie agresywności wody. Należy jednak pamiętać, że w 2000 r. stężenie jonów oznaczono innymi metodami niż w 2011 r., co w pewien sposób może wpływać na dokładność oszacowania zmian stężenia poszczególnych jonów, które zaszły w badanych wodach. Stężenie SO_4^{2-} w ciągu tych lat również zwiększyło się (o ok. 3–7 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), jednak jest to niewielki wzrost, który mieści się granicach błędów pomiaru. Koncentracja SO_4^{2-} spadła jedynie w wodzie źródła 3 (o 17%). W wodzie tego źródła w ciągu 11 lat spadło także stężenie Cl^- oraz NO_3^- . Natomiast w wodzie źródła 4 nastąpił duży wzrost stężenia NO_3^- (200%) oraz Cl^- (o 34%). Pojawienie się jonu amonowego w badanych wodach w 2011 r. wskazuje na obecność bliskich i świeżych ognisk zanieczyszczeń (dzikie wysypiska śmieci zlokalizowane w sąsiedztwie wypływów).

PODSUMOWANIE

Badane źródła o roztopowo-opadowym reżimie nadal cechują się dużymi walorami przyrodniczymi i naukowymi. Na podstawie klasyfikacji wydajności Meinzera zaliczane są one na ogół do klasy III. Suma ich średniej wydajności to 496,4 $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. W składzie chemicznym analizowanych wód dominują produkty rozpuszczania węglanów. Według klasyfikacji Szczukariewa-Priklonńskiego są to wody dwujonowe typu $\text{HCO}_3\text{--Ca}$. W większości przypadków ich mineralizacja przekracza 500 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Badane wody są zaliczane do wód o wysokiej jakości (II klasa), przy czym należy podkreślić, że nie oznaczano w nich metali ciężkich. W 2011 r. w wodach tych wykryto jon amonowy, którego nie oznaczono w 2000 r. Jego obecność wskazuje na istnienie lokalnych ognisk zanieczyszczeń. Warto zatem podjąć działania dążące do podniesienia świadomości ekologicznej miejscowej ludności. Istotnym zadaniem jest również wprowadzenie stałego monitoringu zmian wydajności i cech fizykochemicznych wód źródłanych, gdyż krótkookresowe badania nie mogą być podstawą do oceny długookresowych tendencji tych zmian.

Dziękuję prof. J. Pociask-Karteczce za uwagi oraz J. Siwkowi za udostępnienie danych o wartościach parametrów fizykochemicznych wód badanych źródeł w 2000 r. Dziękuję także recenzentom: A. Szczucińskiej oraz drugiemu, anonimowemu za cenne uwagi, które przyczyniły się do ulepszenia niniejszej pracy.

LITERATURA

BAŚCIK M. & POCIASK-KARTECZKA J. 2001 – Źródła Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej i Wyżyny Miechowskiej warte ochrony. [W:] German K. & Balon J. (red.) Przemiany środowiska przyrodniczego Polski a jego funkcjonowanie. Probl. Ekol. Kraj., 10: 389–396.
CABAJ W. & NOWAK W.A. 1986 – Rzeźba Niecki Nidziańskiej. Stud. Ośr. Dok. Fizjogr., 14: 119–209.
CHELMICKI W. 1986 – Źródła Niecki Nidziańskiej. Stud. Ośr. Dok. Fizjogr., 14: 249–271.
CHELMICKI W. (red.) 2001 – Źródła Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej i Miechowskiej. Zmiany w latach 1973–2000. Inst. Geogr. Gosp. Przestrz. Uniw. Jagiell., Kraków, s. 128.
CHELMICKI W., BAŚCIK M., KORSKA A., POCIASK-KARTECZKA J., SIWEK J. & ŻELAZNY M. 2001 – Porównanie stanu źródeł Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej i Miechowskiej w latach 1973–1974 i 1999–2000. [W:] German K. & Balon J. (red.) Przemiany środowiska przyrodniczego Polski a jego funkcjonowanie. Probl. Ekol. Kraj., 10: 383–388.
CHELMICKI W., JOKIEL P., MICHALCZYK Z. & MONIEWSKI P. 2011 – Distribution, discharge and regional characteristics of springs in Poland. Episodes, 34: 244–256.

CHELMICKI W. & SIWEK J. 2001 – Natural and anthropogenic factors controlling spring water quality in the southern part of the Małopolska Upland (southern Poland). [W:] Gehrels H. i in. (red.) Impact of human activity on groundwater dynamics. Proceedings of a symposium held during the Sixth IAHS Scientific Assembly at Maastricht, The Netherlands, July 2001. IAHS Publ., 269: 317–322.
CZARNECKA H. 1970 – Rozmieszczenie i reżim hydrologiczny źródeł na Wyżynie Małopolskiej. Pr. Państw. Inst. Hydrol.-Meteor., 100: 71–78.
CZARNECKA H. 1973 – Rozmieszczenie źródeł na Wyżynie Małopolskiej. Pr. Stud. Inst. Geogr. Uniw. Warszaw., 24: 5–70.
DRZAŁ M. & DYNOWSKA I. 1982 – Cenne przyrodniczo źródła na Wyżynie Miechowskiej. Stud. Ośr. Dok. Fizjogr., 10: 361–368.
DYNOWSKA I. 1963a – Metoda określania wpływu środowiska geograficznego na obieg wody na przykładzie dorzecza górnej Szreniawy. Zesz. Nauk. Uniw. Jagiell., Pr. Geogr., 7: 7–24.
DYNOWSKA I. 1963b – Stosunki hydrograficzne oraz zagadnienia ochrony wód zachodniej części Wyżyny Miechowskiej. Ochr. Przyr., 29: 89–120.
DYNOWSKA I. 1964 – Obieg wody w obszarze wyżynnym zbudowanym z marglu kredowego na przykładzie dorzecza górnej Szreniawy. Zesz. Nauk. Uniw. Jagiell., Pr. Geogr., 8: 113.
DYNOWSKA I. 1983 – Źródła Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej i Miechowskiej. Stud. Ośr. Dok. Fizjogr., 11: 82–85.
DYNOWSKA I. & TLĄKA A. 1970 – Krążenie wód podziemnych na Wyżynie Krakowskiej i Miechowskiej. Folia Geogr., Ser. Geogr.-Phys., 4: 33–42.
DYNOWSKA I. & TLĄKA A. 1971 – Przewodnik wycieczki hydrograficznej po Wyżynie Krakowskiej i Miechowskiej. Uniw. Jagiell., Kraków, s. 15.
DYNOWSKI J. & ZBĄDYŃSKA E. 1974 – Chemizm wód gruntowych Wyżyny Krakowskiej i Miechowskiej. Zesz. Nauk. Uniw. Jagiell., Pr. Geogr., 37: 35–68.
GUZIK Z. & GÓRKA Z. 1991 – Użytkowanie ziemi i rolnictwo. [W:] Dynowska I. & Maciejewski M. (red.) Dorzecze górnej Wisły, cz. 1. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa–Kraków: 119–127.
KLECZKOWSKI A.S. 1986 – Wody podziemne Niecki Nidziańskiej. Stud. Ośr. Dok. Fizjogr., 14: 239–248.
KLECZKOWSKI A.S. 1991 – Główne poziomy wodonośne w obrębie poszczególnych jednostek hydrogeologicznych. [W:] Dynowska I. & Maciejewski M. (red.) Dorzecze górnej Wisły, cz. 1. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa–Kraków: 266–279.
KONDRACKI J. 2000 – Geografia regionalna Polski. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, s. 440.
MACIOSZCZYK A. 1987 – Hydrogeochemia. Wyd. Geol., Warszawa, s. 475.
MAŁECKA D. 1997 – Zmiany wydajności Niebieskich Źródeł – przyczyny i skutki. Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Phys., 2: 95–114.
MICHALCZYK Z. 2001 – Źródła Wyżyny Lubelskiej i Roztocza. Wyd. Uniw. Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin, s. 298.
MICHALCZYK Z., CHMIEL S., GŁOWACKI S. & ZIELIŃSKA B. 2004 – Zmiany wydajności i chemizmu wód źródeł Wyżyny Lubelskiej i Roztocza. Ann. UMCS, Sec. B, 59: 107–122.
NIEDZIELSKI H. 1971 – Warunki występowania wód w górnej kredzie Wyżyny Miechowskiej. Prz. Geogr., 43: 561–586.
PASZYŃSKI J. & KLUGE M. 1986 – Klimat Niecki Nidziańskiej. Stud. Ośr. Dok. Fizjogr., 14: 211–238.
PAZDRO Z. & KOZERSKI B. 1990 – Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa, s. 623.
PRZESMYCKI P. 1921 – Źródła rzeki Białej i Szreniawy. Prz. Góm.-Hutn., 13: 355–370.
Rocznik Meteorologiczny 1974. IMGW, Warszawa, s. 660.
Rocznik Meteorologiczny 1975. IMGW, Warszawa, s. 792.
Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych (DzU Nr 143, poz. 896).
RUTKOWSKI J. & MĄDRY S. 1997 – Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1 : 50 000, ark. Miechów (915). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
SIWEK J. 2002 – Przyrodnicze i antropogeniczne uwarunkowania chemizmu wód źródłanych w zlewniach Szreniawy, Dłubni i Prądnika [rozprawa doktorska]. Uniw. Jagiell., Kraków, s. 146.
SIWEK J. 2004 – Źródła w zlewniach Prądnika, Dłubni i Szreniawy. Naturalne i antropogeniczne uwarunkowania jakości wód. Inst. Geogr. Gosp. Przestrz. Uniw. Jagiell., Kraków, s. 98.
SIWEK J. & CHELMICKI W. 2004 – Geology and land-use related pattern of spring water quality. Case study from the catchments of the Małopolska Upland (S. Poland). Geol. Acta, 2: 167–174.
WAGNER J., GAJOWIEC B. & MOTYKA J. 2000 – Mapa hydrogeologiczna Polski 1 : 50 000 wraz z objaśnieniami, ark. Miechów (915). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
ZEMBAL M., LISZKA P. & PACHOLEWSKI A. 1997 – Mapa hydrogeologiczna Polski 1 : 50 000 wraz z objaśnieniami, ark. Słomniki (947). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
<http://www.ogimet.com> [dostęp: 12.03.2012].

Praca wpłynęła do redakcji 25.07.2013 r.
Akceptowano do druku 11.12.2013 r.